

# Großtechnische Umsetzung von Abbruch-, Rückbau- und Recyclingversuchen an Carbonbetonbauteilen

*F. Kopf | J. Kortmann*

DOI: <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201805141114-0>

*Dipl.-Ing. Florian Kopf  
Institut für Baubetriebswesen  
TU Dresden  
florian.kopf@tu-dresden.de*

*Dipl.-Ing. Jan Kortmann  
Institut für Baubetriebswesen  
TU Dresden  
jan.kortmann@tu-dresden.de*

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>162</b>
<b>2</b>	<b>Planung und Durchführung der Großversuche .....</b>	<b>162</b>
2.1	Entwurf der Bauteile .....	162
2.2	Planung der Bearbeitungs- und Abbruchverfahren .....	164
2.3	Herstellung und Montage der Großbauteile .....	165
2.4	Bearbeitung und Abbruch der Großbauteile .....	166
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>168</b>

## 1 Einleitung

Die hier beschriebenen Forschungsarbeiten im Verbundvorhaben C<sup>3</sup>-V1.5 „Abbruch, Rückbau und Recycling von C<sup>3</sup>-Bauteilen“ schließen inhaltlich an den im Tagungsband zum 28. BBB-Assistententreffen veröffentlichten Beitrag an. Übergeordnetes Ziel des Projektes ist die Beseitigung von Markteintrittsbarrieren für den Baustoff Carbonbeton (C<sup>3</sup>-Beton), in dem die Recyclingfähigkeit sowie gesundheitliche Aspekte im Zusammenhang mit dem Verbundwerkstoff untersucht werden.

In der vorangegangenen Projektphase wurden Großversuche zur Validierung der verfahrenstechnischen Ergebnisse aus den Laborversuchen durchgeführt. Die Gewinnung weiterer Erkenntnisse zu den Auswirkungen von C<sup>3</sup>-Betonen auf Abbruch-, Rückbau- und Recyclingtechnologien unter praxisnahen Randbedingungen ist ein wichtiges Projektteilziel und stellt den umfangreichsten Teil der praktischen Versuche im Rahmen des Forschungsvorhabens dar. Mit den benannten Versuchen werden erstmalig Versuche zu Abbruch-, Rückbau- und Recyclingtechnologien im Maßstab 1:1 erprobt. Die Versuche stellen den Grundstein für die Beurteilung der Recyclingfähigkeit und Wiederverwendbarkeit von C<sup>3</sup>-Materialien dar. Auf Basis der Ergebnisse werden Aussagen zur Materialaufbereitung und zum Einsatz der aufbereiteten Fraktionen als hochwertiger Primärrohstoffersatz für die Produktion neuer C<sup>3</sup>-Bauteile erwartet.<sup>1</sup> Die in diesem Artikel beschriebenen Forschungsarbeiten sollen die grundlegenden Überlegungen zur Entwicklung der Großversuche, deren Durchführung und einen Teil der Ergebnisse zusammenfassend darstellen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den verfahrenstechnischen Erkenntnissen.

## 2 Planung und Durchführung der Großversuche

### 2.1 Entwurf der Bauteile

Die Basis für den Entwurf der Bauteile stellt eine umfassende Recherche zu carbonfaserbewehrten Betonbauteilen dar, die sich bereits in der praktischen Anwendung befinden oder die im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelt wurden. Ergänzend wurde ein konkreter Ausblick auf die zukünftige Nutzung von C<sup>3</sup>-Betonen in der Praxis gegeben. Das Ergebnis dieser Vorarbeiten ergibt, dass bereits zahlreiche Bauteile in Form von Fassadenelementen (klein- und großformatig), Sandwichfassadenelementen, Schalenträgerwerken, Brücken, Textilbetonträgern, Treppenstufenelementen entwickelt wurden und als Demonstratoren in die Praxis überführt wurden.<sup>2</sup> Im Bereich der konstruktiven Betonfertigteile sind die Textilbetonfertigteilegaragen der Firma Beton Kemmler GmbH<sup>3</sup> und Textilbeton-Sandwichelemente der Firmen solidian GmbH und der Fa. Fibrobeton hervorzuheben.<sup>4</sup>

Für die Bauteile im Vorhaben C<sup>3</sup>-V1.5 wurde in einem Entscheidungsprozess der beteiligten Partner festgelegt, dass carbonfaserbewehrte Bauteile mit der grundsätzlichen Anlehnung an

---

<sup>1</sup> Vgl. Kortmann/Kopf (2016), S. 161 f.

<sup>2</sup> Ehlig et al. (2012), S 777 f.

<sup>3</sup> Vgl. <https://www.beton-kemmler.de/blog/weltneuheit-aus-tuebingen-steht-kurz-vor-der-zulassung/>, 23.04.2018.

<sup>4</sup> Vgl. Schneider et al. (2009), S. 569 ff.

konstruktive Fertigteile aus konventionellem Stahlbeton entwickelt werden sollten. Das Ziel war die Herstellung von zwei baugleichen, garagenförmigen Gebäuden mit den Außenabmessungen von 5,00 m x 2,50 m x 2,70 m (l x b x h). Die Festlegung fiel auf den Fertigteiltyp Doppel-T-Platte als Deckenelemente und schlanke Carbonbetonfertigteilwände mit konstantem Querschnitt. Die Deckenelemente wurden in ihren Dimensionen, orientiert am Systemmaß von 62,50 cm, auf 5,00 m x 1,25 m x 0,25 m (l x b x h) festgelegt (vgl. Abbildung 1). Für die Bemessung wurde die Nutzlast mit 2 kN/m<sup>2</sup> definiert.

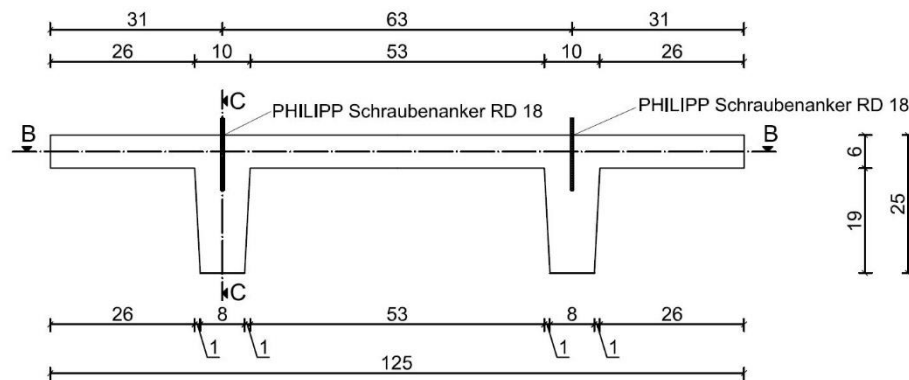


Abbildung 3: Querschnittsmaße der Doppel-Pi-Platte

Für die Wandelemente aus Carbonbeton wurde eine Wanddicke von 8 cm gewählt. Die Wandstärke resultiert im Wesentlichen aus den Ansätzen der Schalhaftung und der Berücksichtigung des Lastfalls des Abhebens des ausgehärteten Fertigteils aus der Schalung, ohne dass das Erstrissmoment überschritten wird. Die Wände, die den rechteckigen Grundriss begrenzen, wurden in den Dimensionen 5,00 m x 2,64 m x 0,08 m (nicht tragend) und 2,34 m x 2,64 m x 0,08 m (tragend) hergestellt.

Insgesamt wurden vier nichttragende Wände, vier tragende Wände und sechs Deckenelemente (zwei Elemente für einen separaten Dauerstandsversuch und 3-Punkt-Biegeversuch) produziert. Bei der Herstellung wurden ca. 200 kg Carbongelege Solidian GRID Q95/95-CCE-38 als Mattenbewehrung und ca. 17 kg CF-Stäbe C4R von tyssenkrupp Carbon Components GmbH als stabförmige Bewehrung verbaut. Als Betonmatrix wurde, nach kleinmaßstäblichen Tastversuchen, eine typische Rezeptur der Firma Klebl GmbH mit der Festigkeit C 60/75 gewählt. Die verbaute Betonmenge betrug 20,9 t.

## 2.2 Planung der Bearbeitungs- und Abbruchverfahren

Ein Teilziel der Durchführung der Betonbearbeitungsverfahren war die Gewinnung validierbarer Erkenntnisse über die Bearbeitbarkeit der hergestellten C<sup>3</sup>-Bauteile im eingebauten Zustand. Des Weiteren sollen durch die Aufschlüsse Aussagen über die Produktionsqualität der Bauteile hinsichtlich der Verdichtung und der Lage der Carbonbewehrung getroffen werden können. Ähnlich der Durchführung der Laborversuche<sup>5</sup> wurde sich für die Untersuchung der Bearbeitung der Großbauteile für die Abbruchverfahren Betonkernbohren (d = 200 mm) und Betonsägen (je ein Fensterausschnitt [0,90 m x 0,90 m] und ein Türausschnitt [1,00 m x 2,00 m]) entschieden. Das Betonbohren wurde sowohl an den Wandbauteilen als auch an den Deckenbauteilen durchgeführt, die Betonsägearbeiten nur an den Wandbauteilen. Aus Sicherheitsgründen fanden die Arbeiten nur an den nichttragenden Wänden statt und auf den Deckenelementen wurde zwischen den Stegen gebohrt. Als Geräte wurden, wie bei den kleinmaßstäblichen Laborversuchen, eine Hilti DD 350-CA (Kernbohrmaschine) und eine Hilti DS TS20-E (Wandsäge) gewählt.

Die Konzeption möglicher Abbruch- und Rückbautechnologien stützt sich auf den Erfahrungen des Praxispartners Caruso Umweltservice GmbH und den einschlägigen Vorschriften und Handlungsempfehlungen, wie bspw. die DIN18007 „Abbrucharbeiten – Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche“<sup>6</sup> und die „Arbeitshilfe zur Entwicklung von Rückbaukonzepten im Zuge des Flächenrecyclings“ des Landesumweltamtes NRW<sup>7</sup>. Aufgrund der Bauteilgeometrien wurde der Abbruch mit handgeführten Geräten ausgeschlossen und frühzeitig die Entscheidung für Abbruchwerkzeuge an einem Trägergerät getroffen. Ein weiterer ausschlaggebender Punkt war die notwendige Vergleichbarkeit mit Abbrucharbeiten an ähnlichen Gebäuden in konventioneller Stahlbetonbauweise. In Konsequenz wurden für die Großversuche die Geräte und Werkzeuge gewählt:

- Trägergerät Hydraulikbagger CAT 329E mit
- der Universalschere CAT MP 324 P (Pulverizer) und
- einem Tieflöffel sowie
- eines Greifers gewählt.

Um die Trennbarkeit der Carbonbewehrung von der Betonmatrix zu untersuchen, wurden in Ergänzung zu den Abbruchgeräten und -werkzeugen in Analogie die Geräte für die erstmaligen Untersuchungen zur Aufbereitung des gebrochenen Materials gewählt. Dabei handelte es sich um einen mobilen Backenbrecher mit integriertem Magnetabscheider (Modell: Klee- mann Mobicat MC 100 R EVO) und einen angeschlossenen mobilen Windsichter (Modell: CityEquip AirMaster 1200).

---

<sup>5</sup> Vgl. Kopf/Bienkowski/Kortmann (2017), S. 156.

<sup>6</sup> Siehe DIN 18007:2000-5, Anhang A, S. 7.

<sup>7</sup> Landesumweltamt NRW (1999), Kapitel 5.2.2.

## 2.3 Herstellung und Montage der Großbauteile

Die Großbauteile wurden im Fertigteilwerk des Praxispartners Klebl GmbH in Gröbzig hergestellt. In Vorbereitung der Produktion wurden dem Praxispartner die bereits erarbeiteten Erkenntnisse zum Umgang mit der Carbonbewehrung (insbesondere die Festlegungen zu Arbeitsschutzmaßnahmen) in Form eines Merkblattes bereitgestellt. Die Herstellung erfolgte auf stationären Stahlkipptischen mit konventioneller Holzschalung mit Kunststoffbeschichtung. Wie bei flächigen Bauteilen üblich (z. B. Wand- und Deckenelementen) wurde sich bewusst für eine liegende Herstellung in der Schalung und dem Gießen als Herstellprozess entschieden. Damit ließ sich die Herstellung der großformatigen Carbonbetonbauteile in die Prozesse zur Herstellung konventioneller Betonfertigteile im Fertigteilwerk Gröbzig integrieren. Im Gegensatz zu stahlbewehrten Bauteilen, konnte die Bewehrung ohne Vorfertigung direkt in der Schalung eingebaut werden. Aufgrund des geringen Gewichts der Bewehrungsmatten von  $0,625 \text{ kg/m}^2$  wurden keine Hebezeuge für den Bewehrungseinbau benötigt. Als Abstandhalter dienten handelsübliche Kunststoffabstandhalter für eine Betondeckung in Höhe von 20 mm. Die Verknüpfung der Bewehrungsmatten an Übergreifungsstößen wurde mit Metallbindedraht hergestellt. Um die Beschädigung der Carbonbewehrung während des Bewehrungseinbaus zu verhindern, wurden Hilfskonstruktionen (vgl. Abbildung 2) genutzt.



**Abbildung 2: Verbindung von Carbonbewehrungsmatten auf Hilfskonstruktion**



**Abbildung 3: Verdichtung mittels Flaschenrüttler**

Als Herstellverfahren wurde das Gießen als etabliertes Verfahren für die Herstellung flächiger Bauteile im Fertigteilwerk gewählt. Eine Besonderheit dabei war der Einsatz eines dünnen Flaschenrüttlers mit einem Durchmesser von nur 25 mm in den Stegen der Doppel-T-Deckenelemente (vgl. Abbildung 3), um die Verdichtung zwischen der engmaschigen Bewehrung sicherzustellen. Eine Vorverdichtung erfolgte über den Einsatz von Außenrüttlern unter dem Schaltisch. Die Bauteiloberseiten wurden nach dem Ansteifen des Betons mittels eines Flügelglätters nachbearbeitet. Die Bauteile wurden nach der Herstellung und der Aushärtung in den Werkshallen bis zur Erreichung der charakteristischen 28-Tage-Festigkeit gelagert.

Nach dem Aushärten aller Bauteile wurden diese zu einer Freifläche auf dem Gelände des Fertigteilwerkes transportiert und dort montiert. Die Montage fand auf vorbereiteten Fundamenten statt, die auch der Befestigung der temporären Hilfsstützen dienten. Die nichttragenden Wände wurden über Gewindestangen, die durch die tragenden Wände geführt wurden,

mit den tragenden Stirnwänden verschraubt und die Deckenelemente mit Stahldornen schubfest aufgelegt.



**Abbildung 4: Montage der Wandelemente mit Hilfsstützen**



**Abbildung 5: Montiertes Carbonbetongebäude**

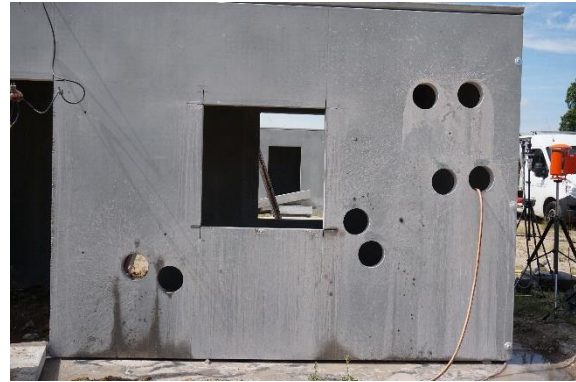
## **2.4 Bearbeitung und Abbruch der Großbauteile**

Die Großversuche begannen mit den Versuchen zum Betonbohren und -sägen am 06.06.2017. Zwei Mitarbeiter des Praxispartners steinbeisser GmbH sowie drei Mitarbeiter der Firma Müller-BBM GmbH und drei wissenschaftliche Mitarbeiter des Institutes für Baubetriebswesen führten die Abbruchversuche, die begleitenden Emissionsmessungen und die wissenschaftliche Dokumentation aller Arbeiten durch. Im ersten Schritt wurden die Sägeschnitte für eine Tür- und eine Fensteröffnung (vgl. Abbildung 6) hergestellt. Die eigentliche Versuchsdurchführung ergab keine Besonderheiten in Bezug auf das bearbeitete Material Carbonbeton. Eine Schwierigkeit bestand jedoch in der Befestigung der Wandsäge an der nur 8 cm dünnen Carbonbetonwand. Zur Befestigung wurden Einschlaganker der Marke Hilti HKD M12x60 verwendet, bei deren Einbringung es zu großflächigen Abplatzungen auf der Rückseite der Carbonbetonwand kam. Die Ausführungsstellen für die Kernbohrungen wurden vor Ort ausgewählt. Entscheidungsrelevant waren sich an der Oberfläche abzeichnende Bewehrungsstrukturen und Bereiche ohne diese sichtbaren Merkmale, um den Zusammenhang von Bewehrungslage und Oberflächenerscheinung zu untersuchen. Es wurden acht Kernbohrungen im Durchmesser 200 mm ausgeführt (vgl. Abbildung 7). Bei der Durchführung der Kernbohrungen bestätigte sich der Eindruck aus den kleinmaßstäblichen Versuchen hinsichtlich der leichten Ausführbarkeit. Bei der Befestigung der Kernbohrmaschine an dem Wandbauteil traten vergleichbare Abplatzungen, wie bei der Befestigung der Wandsäge auf.





**Abbildung 6: Herstellung Sägeschnitt für Türöffnung**



**Abbildung 7: Kernbohrungen in Carbonbetonwandbauteil**

Für den Totalabbruch der beiden Bauwerke waren drei Mitarbeiter des Praxispartners Caruso Umweltservice GmbH sowie erneut jeweils die Mitarbeiter der Müller-BBM GmbH und des Institutes für Baubetriebswesen vor Ort. Es wurde festgelegt, dass die beiden Gebäude durch das Verfahren Pressschneiden mittels Betonpulverisierer abgebrochen werden. Begonnen wurde mit den nichttragenden Wänden und darauffolgend wurde die eigentliche Tragstruktur des Gebäudes abgebrochen (vgl. Abbildung 8). Der Abbruch wurde mehrfach unterbrochen, um einzelne Schritte zu dokumentieren und Schlussfolgerungen zum Materialverhalten ziehen zu können. Bereits im Laufe des Abbruchs des ersten Bauwerkes konnte festgestellt werden, dass die Geräteauswahl (Trägergerät mit Betonpulverisierer) für den Verbundbaustoff Carbonbeton ideal geeignet ist. Der Betonpulverisierer ist in der Lage die Carbonbetonbauteile zu brechen und zu trennen, da die Carbonbewehrung durch die Belastung quer zur Faserrichtung spröde und vollständig bricht. Der größte Vorteil dieser Eigenschaft liegt darin, dass die abgebrochenen Bauteile kaum nachträglich zerkleinert werden müssen, um sie in den mobilen Backenbrecher aufgeben zu können.



**Abbildung 8: Totalabbruch des ersten Gebäudes**



**Abbildung 9: Material nach Brechen und Windsichtung**

Der folgende Totalabbruch des zweiten Bauwerkes bestätigte diese Erkenntnisse. Bei dem unterbrechungsfreien Abbruch des zweiten Bauwerkes wurde besonders deutlich, dass der Effizienzvorteil des Abbruchs von Carbonbetonbauteilen darin besteht, dass es zu keinen Unterbrechungen für ein gesondertes Durchtrennen von Bewehrungsstrukturen gibt. Diese Unterbrechungen sind beim Abbruch von Stahlbetonbauteilen fester Bestandteil einer Abbruchmaßnahme. Darüber hinaus lässt sich postulieren, dass der Verschleiß der eingesetz-

ten Werkzeuge deutlich geringer als bei konventionellen Stahlbetonbauteilen ausfällt. Die Aufbereitung des abgebrochenen Materials im mobilen Backenbrecher mit dem vollständigen Aufschluss der Carbonbewehrung von der Betonmatrix verlief problemlos. Die geplante Separation des Carbongeleges von der gebrochenen Betonmatrix mittels des eingesetzten Windsichters (vgl. Abbildung 9) gelang hingegen nur ungenügend. Nur etwa 10 % des eingesetzten Bewehrungsmaterials konnten in diesem Verfahrensschritt wiedergewonnen werden, sodass weitere Separationsverfahren zu untersuchen waren.

### **3 Ergebnisse**

Die Versuche zur Bearbeitung von Carbonbetonbauteilen in ihrer Einbaulage bestätigten im Wesentlichen die Ergebnisse der vorhergehenden kleinmaßstäblichen Versuche. Sowohl die Kernbohrungen als auch die Sägeschnitte ließen sich ohne Probleme ausführen. Besonderheiten wurden hauptsächlich bei der Befestigung der konventionellen Maschinenteknik an den sehr dünnen Carbonbetonbauteilen deutlich. Darüber hinaus erwiesen sich die Wandbauteile als sehr schwingungsempfindlich. Für den praktischen Einsatz ist deshalb der Einsatz kleinerer Maschinen und Geräte zu überlegen. Im Idealfall sollte bei der Herstellung von Durchdringungen in Carbonbetonbauteilen völlig auf eine Befestigung mit Schlagankern verzichtet werden. Als Alternativen sind der Einsatz rein handgeführter Maschinen oder die Nutzung von Sonderlösungen, wie Vakuumplatten zur Befestigung, zu empfehlen. Für Sägeschnitte können alternative Verfahren, wie Seilsägen, in Erwägung gezogen werden.

Der Abbruch der beiden Carbonbetonbauwerke und die Zerkleinerung der Abbruchmassen verdeutlichen, dass die konventionelle Maschinenteknik ideal für den Umgang mit carbonbewehrten Betonbauteilen geeignet ist. Aufgrund des spröden Bruchverhaltens der Carbonbewehrung entstehen Bewehrungsfragmente, die kaum eine nachträgliche Bearbeitung benötigen, um dem weiteren Aufbereitungsprozess zugeführt zu werden. Der mobile Backenbrecher erwies sich als sehr gut geeignet, um das Abbruchmaterial auf gängige Korngrößen, wie z. B. 0/56, zu zerkleinern. Die Separation der einzelnen Fraktionen des Verbundbaustoffes war auf der Baustelle mit dem eingesetzten Gerät nicht umzusetzen. Für die Wahl eines geeigneten Separationsverfahrens sind weitere Untersuchungen erforderlich.



## **Literaturverzeichnis**

### **DIN 18007:2000-05**

DIN 18007:2000-05 Abbrucharbeiten – Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche;  
Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.); 2000; Berlin; Beuth Verlag GmbH

### **Ehlig et al. (2012)**

Ehlig, Daniel; Schladitz, Frank; Frenzel, Michael; Curbach, Manfred: „Textilbeton – Ausgeführte Projekte im Überblick“, In: Beton- und Stahlbetonbau 107, Heft 11, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2012, S. 777-783

### **Kopf/Bienkowski/Kortmann (2017)**

Kopf, Florian; Bienkowski, Natalia; Kortmann, Jan: „Abbruch, Rückbau und Recycling von C<sup>3</sup>-Bauteilen – Aktueller Stand im Forschungsprojekt“, In: K. Körkemeyer, B.-M. Kurzrock (Hrsg.), „Tagungsband zum 28. BBB-Assistententreffen“, Technische Universität Kaiserslautern, 2017, S. 156

### **Kortmann/Kopf (2016)**

Kortmann, Jan; Kopf, Florian: Recyclingfähigkeit von Carbonbeton – Ist-Stand im Forschungsprojekt „Zwanzig20 – C3 Carbon Concrete Composite – Verbundvorhaben 1.5“, In: R. Schach, P. Jehle (Hrsg.), „Tagungsband – 27. BBB-Assistententreffen“, TUDpress Verlag der Wissenschaften, Dresden, 2016, S. 161 - 162

### **Landesumweltamt NRW (1999)**

Arbeitshilfe zur Entwicklung von Rückbaukonzepten im Zuge des Flächenrecyclings;  
Landesumwelt-amt NRW (Hrsg.), Rolf Bracke, Christina Klümpen, EVOS Umwelt GmbH, 1999, Essen

### **Schneider et al. (2009)**

Schneider, Hartwig N.; Schätzke, Christian; Feger, Christiane; Horstmann, Michael; Pak, Daniel: „Modulare Bausysteme aus Textilbeton-Sandwichelementen“, In: Curbach, M. (Ed.): Textilbeton – Theorie und Praxis: Tagungsband zum 4. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung; Dresden, 03.–05.06.2009 in Dresden, 2009, pp. 565–576